

H01L 21/60 E



① BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 46 289 A 1**

⑪ Aktenzeichen: P 44 46 289.1
⑫ Anmeldetag: 23. 12. 94
⑬ Offenlegungstag: 27. 6. 96

⑤ Int. Cl. 6:
B 23 K 26/00
H 01 R 43/02
H 05 K 3/32
H 01 L 21/60
// B 23 K 26/18

DE 44 46 289 A 1

⑦ Anmelder:

Finn, David, 87459 Pfrontan, DE; Rietzler, Manfred,
87616 Marktoberdorf, DE

⑧ Vertreter:

Patentanwälte Böck, Tappe und Kollegen, 97072
Würzburg

⑦ Erfinder:

Rietzler, Manfred, 87616 Marktoberdorf, DE

⑥ Entgegenhaltungen:

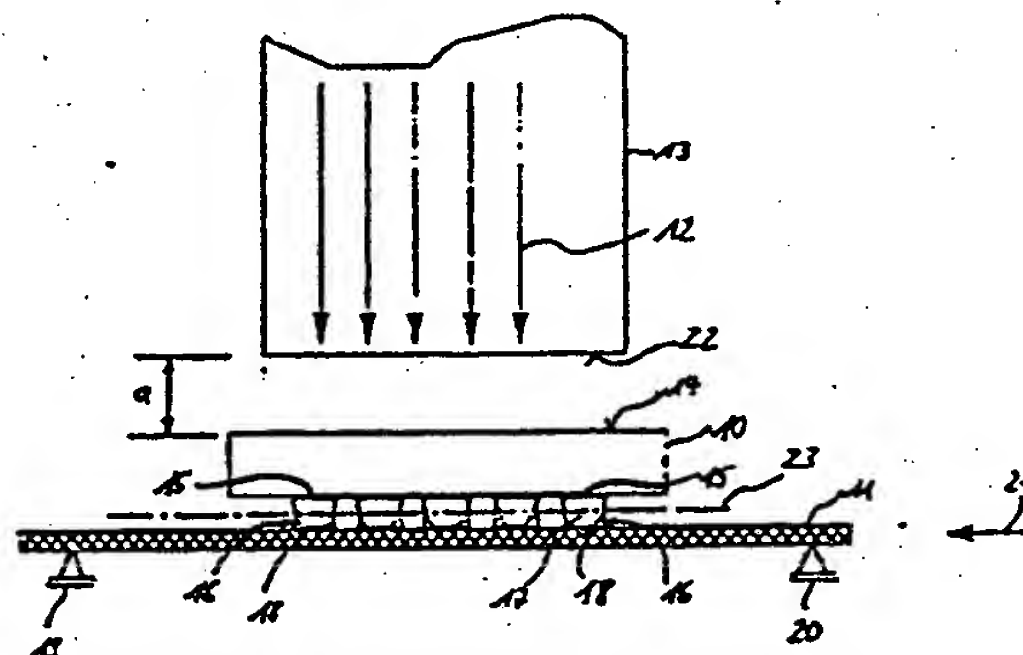
DE 42 00 432 A1
DE 35 44 377 A1
GB 20 68 845 A
US 33 74 531

JP 4-91493 A in: »Pat. Abstr. of Japan«, 1992, Sec.
E-1232, Vol. 16/No. 318;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur Mikroverbindung von Kontaktelementen

⑤ Verfahren und Vorrichtung zur thermischen Verbindung zweier auf jeweils einem Substrat (10, 11) angeordneter Kontaktelemente (15, 18) mittels eines Verbindungsmaterials (16), wobei zur Durchführung der Verbindung die Substrate derart angeordnet werden, daß sich die Kontaktelemente in einer Verbindungsebene (23) überdecken und zur Erzielung der in der Verbindungsebene notwendigen Verbindungstemperatur ein Substrat (10) von seiner den Anschlußflächen (15) gegenüberliegenden Rückseite (14) her mit Strahlungsenergie beaufschlagt wird, wobei die Transparenz des Substrats (10, 27) und die Wellenlänge der Strahlung (12) derart aufeinander abgestimmt sind, daß die Strahlung (12) im wesentlichen durch das Substrat (10, 27) hindurchgeleitet und im Bereich der Verbindungsebene (23) zwischen den Substraten (10, 11) absorbiert wird.



DE 44 46 289 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur thermischen Verbindung zweier auf jeweils einem Substrat angeordneter Kontaktelemente mittels eines Verbindungsmaterials, wobei zur Durchführung der Verbindung die Substrate derart angeordnet werden, daß sich die Kontaktelemente in einer Verbindungsebene überdecken und zur Erzielung der in der Verbindungsebene notwendigen Verbindungstemperatur ein Substrat von seiner den Anschlußflächen gegenüberliegenden Rückseite her mit Energie beaufschlagt wird.

Verfahren und Vorrichtungen der vorstehenden Art werden in der Mikroverbindungstechnik im Bereich der Flip-Chip-Technologie insbesondere in der Massenfertigung von Systemen mit hochpoligen Chips eingesetzt. Bei dieser Flip-Chip-Kontaktierung wird der Chip mit den als Anschlußflächen ausgebildeten Kontaktelementen nach unten auf ein ebenfalls mit Anschlußflächen versehenes Substrat aufgebracht. Die Verbindung zwischen den Anschlußflächen des Chips und den Anschlußflächen des Substrats kann auf unterschiedliche Art und Weise, beispielsweise durch Schweißen, Löten oder Kleben, erfolgen. Insbesondere bei Verwendung von Mikroschweißverfahren zur Verbindung der Anschlußflächen miteinander ergibt sich jedoch entweder durch die Beaufschlagung des Chips mit Druck und Wärme (Festkörperschweißverfahren) oder Wärme (Schmelzschweißverfahren) eine ungünstige Druck- und/oder Wärme-Beanspruchung für den Chip. Dies führt in manchen Fällen dazu, daß besondere Kühlkörper auf die oben liegende Rückseite der wärmedissipierenden Chips aufmontiert werden müssen.

In anderen Fällen, wie beispielsweise der Kontaktierung von mit Leiterbahnen versehener Polyesterfolie auf Platinen erweist sich eine an sich wünschenswerte analoge Anwendung der Flip-Chip-Technologie aufgrund der geringen Zersetzungstemperatur des Polyesterträgers als unmöglich.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren beziehungsweise eine Vorrichtung zu schaffen, das bzw. die eine Mikroverbindung von Kontaktelementen ermöglicht, die wie bei der Flip-Chip-Technologie von der Rückseite eines mit Kontaktelementen versehenen Substrats erfolgt, ohne daß damit jedoch die vorstehend geschilderten Nachteile verbunden sind.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 3 gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt zur Erzielung der in der Verbindungsebene notwendigen Verbindungstemperatur die Beaufschlagung eines Substrats von seiner den Kontaktelementen gegenüberliegenden Rückseite her mit einer Strahlung. Dabei sind die Strahlung hinsichtlich ihrer Wellenlänge und das Material des Substrats hinsichtlich seiner Transparenz so aufeinander abgestimmt, daß die Strahlung im wesentlichen durch das Substrat hindurchgeleitet wird und eine Absorption der Strahlung im Bereich der Verbindungsebene, also im Bereich der Kontaktelemente, erfolgt.

Die Erfindung macht sich daher den Grundgedanken zunutze, bei der Übertragung von Strahlungsenergie durch das Substrat zu den Kontaktelementen hin die Transparenzeigenschaften des Substrats zu nutzen, um die Absorption der Strahlungsenergie im Substrat zu

minimieren und somit eine Umwandlung der Strahlungsenergie in zum Verbindungsvorgang benötigte Wärmeenergie im wesentlichen nur im Verbindungsbereich selbst zu erzielen. Im Gegensatz zur bekannten Flip-Chip-Technologie, bei der die Wärmeleitungseigenschaften des Substrats zur Verbindungsstelle genutzt werden und deren Anwendung daher mit einer entsprechenden thermischen Beanspruchung des Substrats verbunden ist, wird bei dem erfindungsgemäßen Verbindungsverfahren die thermische Beanspruchung des Substrats auf ein Minimum reduziert und ist im wesentlichen davon abhängig, wie hoch nach entsprechender Abstimmung von Strahlungswellenlänge und Substratmaterial der Restabsorptionsgrad des Substratmaterials ist.

Eine Möglichkeit, sicherzustellen, daß im Bereich der Verbindungsebene die zur Verbindung erforderliche Absorption der Strahlung erfolgt, besteht darin, ein Verbindungsmaterial vorzusehen, das einen auf die Wellenlänge der Strahlung abgestimmten Absorptionsgrad aufweist.

Alternativ oder auch ergänzend zu der vorstehenden Maßnahme kann der gewünschte Absorptionseffekt auch dadurch erreicht werden, indem das Verbindungsmaterial mit einer Absorptionsbeschichtung versehen ist, die einen auf die Wellenlänge der Strahlung abgestimmten Absorptionsgrad aufweist.

Eine weitere Möglichkeit, den erforderlichen Absorptionseffekt bereitzustellen, besteht darin, zumindest auf der dem Verbindungsbereich zugewandten Oberfläche des abgewandt der Strahlungsquelle angeordneten Substrats eine Reflexionsbeschichtung vorzusehen, die die Strahlung in die Verbindungsebene reflektiert. Hier wird schon aufgrund des wiederholten Durchgangs der Strahlung durch die Verbindungsebene für die erforderliche Absorptionswirkung gesorgt.

Besonders vorteilhaft erweist es sich, wenn als Strahlungsquelle eine Laserquelle verwendet wird, da die Auswahl eines geeigneten Lasers neben der genauen Einstellung der gewünschten Wellenlänge auch eine genaue Einstellung der in die Verbindungsstelle eingebrachten Strahlungsenergie, beispielsweise durch Pulsbetrieb, ermöglicht.

Grundsätzlich kommt neben dem Einsatz einer Laseranordnung als Strahlungsquelle der Einsatz jeder beliebigen Strahlungsquelle in Frage, solange sichergestellt ist, daß das Substratmaterial und das Material der Kontaktelemente beziehungsweise das zwischen den Kontaktelementen angeordnete Verbindungsmaterial so aufeinander abgestimmt sind, daß im Substratmaterial im wesentlichen eine Transmission und in den Kontaktelementen beziehungsweise dem Verbindungsmaterial im wesentlichen eine Absorption der Strahlungsenergie erfolgt.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist rückseitig vom Substrat eine Strahlungsquelle zur Emission einer Strahlung mit definierter Wellenlänge angeordnet, derart, daß die Strahlung durch das Substrat zur Absorption in der Verbindungsebene zwischen den Substraten übertragen wird.

Bei einer Ausführung der Strahlungsquelle als Laserquelle in einer Laseranordnung kann diese eine Leiteinrichtung mit mindestens einer Leiteinfaser aufweisen, die zur Übertragung der Laserstrahlung auf die Rückseite des Substrats dient. Die Verwendung einer derartigen Leiteinrichtung ermöglicht auf einfache Art und Weise eine genaue Positionierung des Strahlaustrittsquerschnitts über den miteinander zu verbind-

denden Kontaktelementen der Substrate. In dem Fall, daß die Lichtleiteinrichtung mehrere Lichtleitfasern aufweist, die hinsichtlich ihrer Anzahl, Anordnung und ihres Austrittsquerschnitts den zur Verbindung miteinander bestimmten Paarungen von Anschlußflächen entsprechen, ist es sogar möglich, die Beaufschlagung des Substrats mit Strahlungsenergie auf die mit den Kontaktelementen versehenen Bereiche des Substrats zu beschränken. Darüber hinaus wird für den Fall, daß unterschiedlich ausgebildete Kontaktelemente auf ein und demselben Substrat beziehungsweise unterschiedliche, darauf aufgebrachte Verbindungsmaterialien unterschiedliche Absorptionskoeffizienten aufweisen, die Möglichkeit geschaffen, die den jeweiligen Kontaktelementen zugeführte Strahlungsenergie hinsichtlich ihrer Wellenlänge und Höhe an die spezifischen Bedingungen anzupassen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, daß den jeweiligen Lichtleitfasern unterschiedliche Laserquellen zugeordnet werden.

Im Fall der Verwendung einer Laserquelle als Strahlungsquelle besteht eine weitere Möglichkeit der Ausbildung der Laseranordnung darin, diese mit einer Fokussiereinrichtung zur Fokussierung der Laserstrahlung in die Verbindungsebene oder eine Fokussierebene in einem vorgegebenen Abstand zur Verbindungsebene zu versehen. Diese Ausbildung der Laseranordnung hat den Vorteil, daß durch den Abstand zur Verbindungsebene die in der Verbindungsebene gewünschte Energiedichte und damit die in der Verbindungsebene entstehende Verbindungstemperatur beeinflußt werden kann.

Natürlich ist eine derartige Fokussierung mit den damit verbundenen Vorteilen nicht notwendigerweise mit der Verwendung einer Laseranordnung verbunden. Vielmehr läßt sich eine Fokussierung bei jeder beliebigen Strahlungsart vorteilhaft einsetzen.

Nachfolgend wird eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Darstellung zweier Ausführungsformen einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 die Verbindung zwischen einem Chip und einer Platine;

Fig. 2 die Verbindung zwischen einer mit Leiterbahnen versehenen Polyesterfolie und einer Platine.

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung die Verbindung zwischen einem Chip 10 und einer Platine 11 mittels einer hier nicht näher dargestellten Laserquelle, deren Laserstrahlung 12 durch eine Lichtleitfaser 13 auf die Rückseite 14 des Chips 10 übertragen wird. Dabei liegt der Chip 10 mit seinen Anschlußflächen 15, die hier zur Ausbildung von Bumps 16 zuvor mit einer Kontaktmetallisierung aus Verbindungsmaterial 17 versehen worden sind, auf Leiterbahnen 18 der Platine 11 auf. Vor Durchführung der Verbindung weisen die Bumps noch ihre charakteristische Höckerform auf, die in Fig. 1 gestrichelt dargestellt ist.

Obwohl in den Fig. 1 und 2 die Kontaktelemente als Anschlußflächen beziehungsweise Leiterbahnen ausgebildet sind, ist es ebenso gut möglich, das hier anhand besonderer Ausführungsvarianten dargestellte Verfahren auszuführen, wenn die Anschlußflächen als Einzelleiter, wie zum Beispiel Drahtleiter, ausgebildet sind. Grundsätzlich ist das hier erläuterte Verfahren unabhängig von der Konfiguration der Anschlußflächen anwendbar.

Die Platine 11 liegt auf einer hier im einzelnen nicht näher dargestellten, durch Auflager 19, 20 symbolisier-

ten Montageplattform auf, die beispielsweise unter der Lichtleitfaser 13 in Richtung des Pfeils 21 hinwegbewegt werden kann.

Die Lichtleitfaser 13 weist einen Endquerschnitt 22 auf, der den Bereich sämtlicher Paarungen zwischen den Anschlußflächen 15 des Chips 10 und den Leiterbahnen 18 der Platine 11 überdeckt.

Wenn der zuvor auf hier nicht näher dargestellte Art und Weise auf die Platine 11 aufgelegte Chip 10 sich in der in Fig. 1 dargestellten Relativpositionierung gegenüber dem Endquerschnitt 22 der Lichtleitfaser 13 befindet, erfolgt, wie in Fig. 1 dargestellt, eine Beaufschlagung des Chips 10 von der Rückseite her mit Laserstrahlung 12. Die Wellenlänge der Laserstrahlung ist so auf das Trägermaterial des Chips 10 abgestimmt, daß sich in grober Vereinfachung der in Fig. 1 mitdargestellte Temperaturverlauf im Bereich der Verbindungselemente, also dem Chip 10 und der Platine 11, einstellt. Bei Verwendung einer Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1064 nm weist Silicium als Trägermaterial für den Chip 10 eine Absorption von etwa 5% auf. Wird für das Verbindungsmaterial 17 der Bumps 16 im wesentlichen Zinn gewählt, so weist dieses eine Absorption von etwa 35% auf. Im Ergebnis führen diese drei Parameter zu einer, in Fig. 1 schematisch dargestellten Temperaturverteilung mit der Folge, daß eine relativ geringe Erwärmung und somit geringe thermische Beanspruchung des Chips 10 erfolgt und die zur thermischen Verbindung der Anschlußflächen 15 des Chips 10 mit den Leiterbahnen 18 der Platine 11 erforderliche Verbindungstemperatur im wesentlichen nur im Bereich einer Verbindungsebene 23 erzielt wird.

Wie in Fig. 1 weiter dargestellt, ist der Endquerschnitt 22 der Lichtleitfaser 13 mit Abstand a zur Rückseite 14 des Chips 10 angeordnet, so daß die Beaufschlagung des Chips 10 mit Strahlungsenergie berührungslos erfolgt. Hieraus ergibt sich gegenüber der herkömmlichen Flip-Chip-Technologie, bei der der Chip während des Verbindungsvorgangs positioniert auf der Platine gehalten wird, ein weiterer Vorteil. Durch die im schmelzflüssigen Zustand der Bumps 16 in der Bumpoberfläche auftretenden Oberflächenspannungen, die häufig zur einer hyperboloidförmigen Anbildung der Bumps beim Umschmelzvorgang führen, läßt sich nämlich ein damit verbundener Selbstausrichteffekt (self-alignment) zur genauen Ausrichtung des Chips 10 auf der Platine 11 bzw. der Anschlußflächen 15 gegenüber den Leiterbahnen 18 nutzen. Daher lassen sich auch die Anforderungen, die an die Genauigkeit einer pick-and-Place-Einrichtung zur Positionierung des Chips 10 auf der Platine 11 vor Durchführung des eigentlichen Verbindungsvorgangs gestellt werden müssen, erheblich reduzieren.

Fig. 2 zeigt eine Variante der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung, bei der die aus dem Endquerschnitt 22 der Lichtleitfaser 13 austretende Laserstrahlung 12 zur Verbindung zwischen einer mit Leiterbahnen 24 versehenen flexiblen Polyesterfolie 25 und einer Anschlußflächen 26 aufweisenden Platine 27 dient. Übereinstimmend mit dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel befindet sich hier die Platine 27 auf einer wieder durch die Auflager 19, 20 symbolisierten Montageplattform. Im Unterschied zu dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist hier jedoch der Endquerschnitt 22 der Lichtleitfaser 13 unterhalb einer Rückseite 28 der Platine 27 angeordnet. Die Platine 27 weist ein transparentes Trägermaterial, beispielsweise FR4, auf, so daß die aus dem Endquerschnitt 22 der Lichtleitfaser 13 emittierte Laserstrahlung 12 ohne wesentliche Absorp-

IR-Laser

frei
schwimmender
Chip

tion in die Verbindungsebene 23 zwischen der Platine 27 und der Polyesterfolie 25 gelangen kann, um dort analog zu dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel in hier auf den Anschlußflächen 26 der Platine 27 ausgebildeten Bumps 29 im wesentlichen absorbiert zu werden.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Anordnung befindet sich die extrem temperaturempfindliche Polyesterfolie 25 bezogen auf die Richtung der Laserstrahlung 12 auf der Rückseite der Verbindungsebene 23. Dies führt dazu, daß die thermische Belastung der Polyesterfolie 25 extrem gering ist, so daß thermische Zersetzungerscheinungen der Polyesterfolie 25, die bislang eine Schweißverbindung von mit Leiterbahnen 24 versehenen Polyesterfolien 25 als praktisch unmöglich erscheinen ließen, nun nicht mehr auftreten.

Obwohl in beiden vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen stets eine Laserstrahlung zur Energiebeaufschlagung verwendet wurde, und die Verbindung als Schweißverbindung beschrieben wurde, sind darüber hinaus grundsätzlich auch andere Energiestrahlungen oder Lichtstrahlungen, wie beispielsweise auch starkes Halogenlicht, einsetzbar, um auf die beschriebene Art und Weise Verbindungen zwischen zwei mit Anschlußflächen versehenen Substraten zu schaffen. Bei diesen Verbindungen kann es sich auch um Löt- oder Klebeverbindungen handeln.

Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, daß das hier beispielhaft dargestellte Verfahren sowohl als Single-Bonding-Verfahren, bei dem eine aufeinanderfolgende Kontaktierung der einzelnen Anschlußflächenpaarungen erfolgt, als auch als sogenanntes Gang-Bonding-Verfahren durchführbar ist, bei dem eine synchrone Kontaktierung der Anschlußflächenpaarungen erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur thermischen Verbindung zweier auf jeweils einem Substrat angeordneter Kontaktelemente mittels eines Verbindungsmaterials, wobei zur Durchführung der Verbindung die Substrate derart angeordnet werden, daß sich die Kontaktelemente in einer Verbindungsebene überdecken und zur Erzielung der in der Verbindungsebene notwendigen Verbindungstemperatur ein Substrat von seiner den Kontaktelementen gegenüberliegenden Rückseite her mit Energie beaufschlagt wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Beaufschlagung mit Strahlungsenergie erfolgt, wobei die Transparenz des Substrats (10, 27) und die Wellenlänge der Strahlung (12) derart aufeinander abgestimmt sind, daß die Strahlung (12) im wesentlichen durch das Substrat (10, 27) hindurchgeleitet und im Bereich der Verbindungsebene (23) zwischen den Substraten (10, 11; 27, 25) absorbiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsmaterial einen auf die Wellenlänge der Strahlung (12) abgestimmten Absorptionsgrad aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbindungsmaterial eine Absorptionsbeschichtung mit einem auf die Wellenlänge der Strahlung (12) abgestimmten Absorptionsgrad aufweist.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest auf der der Verbindungsebene (23) zugewandten Oberfläche des abgewandt der Strahlungsquelle angeordneten Substrats eine Reflexionsbeschichtung zur Reflexion der Strahlung in die Verbindungsebene (23) vorgesehen ist.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlungsquelle eine Laserquelle verwendet wird.
6. Vorrichtung zur Herstellung einer thermischen Verbindung zweier Kontaktelemente gemäß einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche gekennzeichnet durch eine Strahlungsquelle zur Emission einer Strahlung (12) mit definierter Wellenlänge, die rückseitig von dem Substrat (10, 27) angeordnet ist, durch das die Strahlung zur Absorption in der Verbindungsebene zwischen den Substraten (10, 11; 27, 25) übertragen wird.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle als Laserquelle ausgebildet ist in einer Laseranordnung mit einer mindestens eine Lichtleitfaser (13) aufweisenden Leiteinrichtung zur Übertragung der Laserstrahlung (12) auf die Rückseite (14; 28) des Substrats (10; 27).
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteinrichtung mehrere Lichtleitfasern aufweist, die hinsichtlich ihrer Anzahl, Anordnung und ihres Austrittsquerschnitts den zur Verbindung miteinander bestimmten Paarungen von Kontaktelementen entsprechen.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung mit einer Fokussiereinrichtung zur Fokussierung der Laserstrahlung (12) in die Verbindungsebene (23) oder eine Fokussierebene in einem vorgegebenen Abstand zur Verbindungsebene (23) versehen ist.

xionsbeschichtung zur Reflexion der Strahlung in die Verbindungsebene (23) vorgesehen ist.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlungsquelle eine Laserquelle verwendet wird.

6. Vorrichtung zur Herstellung einer thermischen Verbindung zweier Kontaktelemente gemäß einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche gekennzeichnet durch eine Strahlungsquelle zur Emission einer Strahlung (12) mit definierter Wellenlänge, die rückseitig von dem Substrat (10, 27) angeordnet ist, durch das die Strahlung zur Absorption in der Verbindungsebene zwischen den Substraten (10, 11; 27, 25) übertragen wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle als Laserquelle ausgebildet ist in einer Laseranordnung mit einer mindestens eine Lichtleitfaser (13) aufweisenden Leiteinrichtung zur Übertragung der Laserstrahlung (12) auf die Rückseite (14; 28) des Substrats (10; 27).

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteinrichtung mehrere Lichtleitfasern aufweist, die hinsichtlich ihrer Anzahl, Anordnung und ihres Austrittsquerschnitts den zur Verbindung miteinander bestimmten Paarungen von Kontaktelementen entsprechen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseranordnung mit einer Fokussiereinrichtung zur Fokussierung der Laserstrahlung (12) in die Verbindungsebene (23) oder eine Fokussierebene in einem vorgegebenen Abstand zur Verbindungsebene (23) versehen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 2

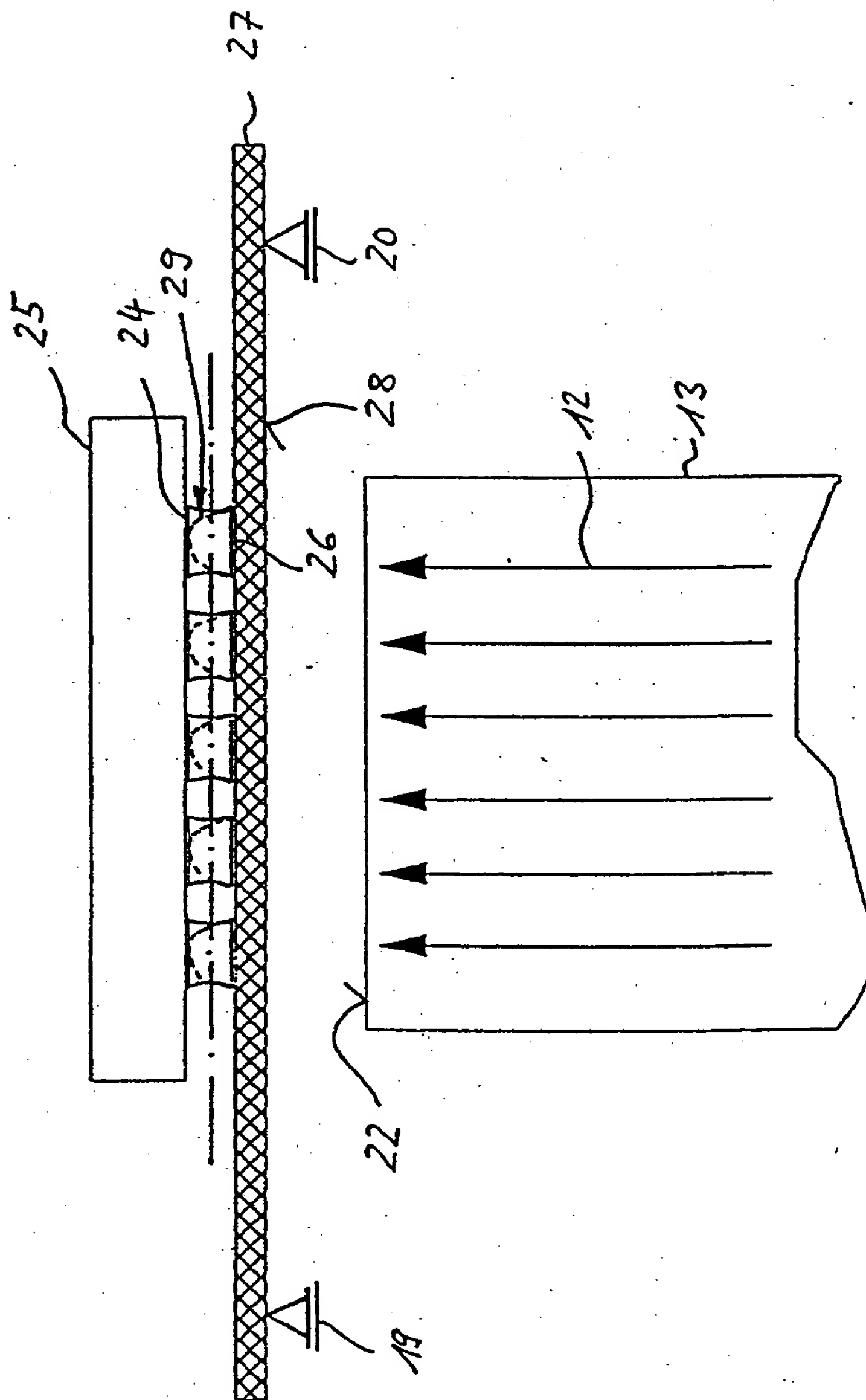


FIG. 1

